

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH
Łódź, 12 – 14 maja 1999 r.

Jerzy Łunarski
Jarosław Sęp
Politechnika Rzeszowska

**WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE ELEMENTÓW ŚLIZGOWYCH
Z POWIERZCHNIOWĄ WARSTWĄ DWUSKŁADNIKOWĄ**

SŁOWA KLUCZOWE:

powierzchniowa warstwa dwuskładnikowa, zużycie tribologiczne, wytrzymałość zmęczeniowa, zużycie korozyjne.

STRESZCZENIE

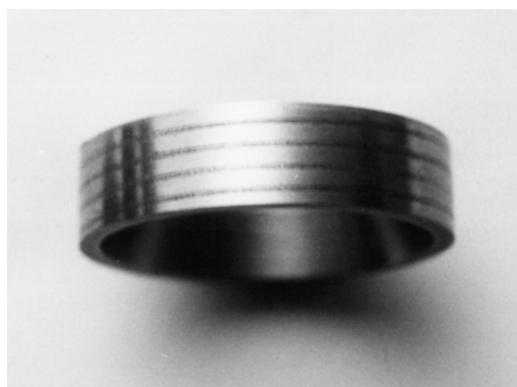
W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości użytkowych elementów z powierzchniową warstwą dwuskładnikową. Stwierdzono, że elementy z powierzchniową warstwą dwuskładnikową posiadają mniejsze zużycie tribologiczne od elementów bez takiej warstwy. Jednocześnie posiadają one jednak mniejszą wytrzymałość zmęczeniową i gorszą odporność korozyjną, co może ograniczać obszary ewentualnych zastosowań prezentowanej metody poprawy właściwości tribologicznych.

1. WPROWADZENIE

Technologia konstituowania powierzchniowych warstw dwuskładnikowych umożliwia wytworzenie na powierzchni obrabianego przedmiotu warstwy składającej się z materiału podstawowego i pasmowo ułożonego w nim materiału modyfikującego. Konstituowanie rozważanej warstwy na trzy etapy:

- etap 1- wykonanie na obrabianej powierzchni walcowej śrubowego rowka,
- etap 2 - ułożenie w wykonanym rowku drutu z materiału modyfikującego,
- etap 3 - nagniatanie (krążkowanie naporowe toczne) całej powierzchni.

W efekcie końcowym otrzymuje się powierzchniową warstwę dwuskładnikową. Na rysunku 1 przedstawiono próbkę z powierzchniową warstwą dwuskładnikową stal 45 - miedź.



Rys.1. Fotografia próbki z powierzchniową warstwą dwuskładnikową

Z przeprowadzonych badań tribologicznych wynika, że zastosowanie czopa stalowego z powierzchniową warstwą dwuskładnikową może wydatnie zwiększyć odporność na zatarcie oraz zmniejszyć współczynnik tarcia w węzłach ślizgowych.

Najlepsze efekty uzyskano przy modyfikacji stali 45 srebrem: brak zatarcia i zmniejszenie współczynnika tarcia o 34%. Korzystne efekty uzyskano również przy modyfikacji miedzią (zwiększenie drogi tarcia do zatarcia o 518%, zmniejszenie współczynnika tarcia o 17%), mniej korzystne przy modyfikacji mosiądzem M 63 (zwiększenie drogi tarcia do zatarcia o 80%, ale również zwiększenie współczynnika tarcia o 38%). Zastosowanie ołowiu i aluminium nie przyniosło pozytywnych efektów [1]

Stwierdzono również że zastosowanie czopa z powierzchniową warstwą dwuskładnikową powoduje zmniejszenie wrażliwości układu łożyskowego na działanie twardych zanieczyszczeń zawartych w oleju [2].

Poprawę właściwości tribologicznych uzyskano poprzez umieszczenie obok siebie na powierzchni trących elementów materiałów o odmiennych właściwościach. Rozwiązanie takie obok zmniejszenia zużycia wywołanego tarcieniem powoduje jednak zwiększone zagrożenie wystąpienia zjawisk zmęczeniowych i korozji

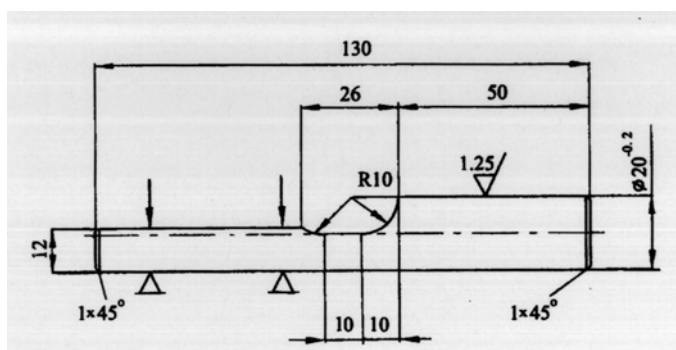
Podczas konstituowania powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej na powierzchni walcowej wykonywany jest śrubowy rowek, który może powodować koncentrację naprężeń w częściach obciążonych siłą rozciągającą lub momentem gnącym powodując pogorszenie wytrzymałości zmęczeniowej. Ponadto bezpośredni styk materiałów (modyfikowanego i modyfikującego) może powodować wystąpienie zjawiska przyspieszonej korozji elektrochemicznej.

Jednoznaczne oszacowanie zmian wytrzymałości zmęczeniowej i odporności korozyjnej czopów z powierzchniową warstwą dwuskładnikową, które jest niezbędne z punktu ewentualnych zastosowań rozważanej technologii, wymaga jednak przeprowadzenia badań doświadczalnych:

2 METODYKA BADAŃ

2.1. BADANIA ZMĘCZENIOWE

Zostały one przeprowadzone na próbkach z normalizowanej stali 45, których kształt i wymiary przedstawiono na rys. 2. Materiałem modyfikującym była miedź.



Rys. 2. Kształt i wymiary próbek stosowanych w badaniach zmęczeniowych.

Badaniom zmęczeniowym poddano próbki przygotowane według następujących wariantów:

- wariant Sz - próbki z powierzchnią szlifowaną (stanowiły one poziom odniesienia),
- wariant R - próbki szlifowane z naciętym rowkiem śrubowym (skok linii śrubowej rowka 3 mm, szerokość rowka 0,8 mm, głębokość rowka 0,6 mm),

- wariant Cu1 - próbki z powierzchniową warstwą dwuskładnikową nagniatana z siłą $P = 900 \text{ N}$, skok linii śrubowej rowka 3 mm ,
- wariant Cu2 - jak wariant Cu 1, tylko nagniatanie z siłą $P = 650 \text{ N}$.

Badania wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie wahadłowe przeprowadzono na wibrato-rze elektrodynamicznym TIRAvib 5142 metodą przyspieszoną (Oldinga-Weibulla) [3], polegającą na badaniu na kilku poziomach naprężeń 3÷5 próbek do zniszczenia. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono równania regresji liniowej ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej Z_{gw} w funkcji logarytmu liczby cykli do zniszczenia N :

$$Z_{gw} = a \cdot \lg(N) + b \quad (1)$$

Z równania tego określono wartość teoretycznej granicy trwałej wytrzymałości zmęczeniowej Z_{gwt} . Wyznaczoną granicę Z_{gwt} sprawdzono badając 3 próbki przy naprężeniu nieznacznie mniejszym od Z_{gwt} . Określono również procentową zmianę wytrzymałości zmęczeniowej ΔZ_{gwt} w odniesieniu do próbek szlifowanych (wariant Sz).

2.2. BADANIA ODPORNOŚCI KOROZYJNEJ

Badane powierzchniowe warstwy dwuskładnikowe konstituowano na próbkach ze stali 45 w stanie normalizowanym. Badaniom poddano próbki przygotowane według następujących wariantów (wszystkie powierzchniowe warstwy dwuskładnikowe konstituowano przy sile nagniatania $P = 900 \text{ N}$ i skoku linii śrubowej rowka 3 mm):

- wariant Sz - próbki z powierzchnią szlifowaną,
- wariant N - próbki nagniatane (krażkowane naporowe toczne) z siłą $P = 900 \text{ N}$,
- wariant Cu1 - próbki modyfikowane miedzią,
- wariant M63 - próbki modyfikowane mosiądzem M63,
- wariant A1 - próbki modyfikowane aluminium,
- wariant Ag - próbki modyfikowane srebrem,
- wariant Pb - próbki zmodyfikowane ołowiem.

Przeprowadzono badania laboratoryjne zużycia korozyjnego w cieczy o temperaturze otoczenia. Zasada metody polega na poddaniu badanych próbek działaniu cieczy naturalnych lub roztworów przemysłowych albo działaniu roztworów sporządzonych w laboratorium. Temperatura cieczy lub roztworu powinna być równa temperaturze otoczenia, a próbki całkowicie zanurzone.

Materiałem do badań były wycinki pierścieni o średnicy 35 mm wykonane ze stali 45 modyfikowane materiałami wyszczególnionymi powyżej. Powierzchnia próbki poddana działaniu środowiska korozyjnego wynosiła około 1 cm^2 , pozostałą część próbki zabezpieczono przed kontaktem z środowiskiem korozyjnym powłoką lakieru bezbarwnego nitro. Poddane działaniu roztworu korozyjnego powierzchnie wybrano tak, aby na powierzchniowych warstwach dwuskładnikowych materiał modyfikujący stanowił 25% powierzchni. Wg. zaleceń [4], w celu ujednoczenia wyników i zmniejszenia ewentualnych błędów pomiaru zbadano w identycznych warunkach po trzy próbki dla każdego wariantu modyfikacji.

Badania korozyjne przeprowadzono w środowisku 0,1 molowego roztwór kwasu siarkowego. Według [5] minimalna objętość ośrodka korozyjnego w tego typu badaniach jest określona jej stosunkiem do powierzchni badanych próbek, który powinien wynosić co najmniej $10 : 1$. W prowadzonych badaniach każda próbka zanurzona była w osobnym naczyniu w ośrodku korozyjnym o objętości 75 cm^3 . Co 336 godzin (dwa tygodnie) próbki były czyszczone acetonem w płuczce ultradźwiękowej (przez 5 minut) z lakieru oraz produktów korozji a następnie ważone na wadze laboratoryjnej. Po dokonaniu wizualnej oceny stopnia skorodo-

wania, a następnie pomiarów ubytku masy, próbki były ponownie zabezpieczone bezbarwnym lakierem nitro i umieszczane w pojemnikach z wymienionym na świeże środowiskiem korozyjnym. Badania trwały 1008 godzin. Wartości ubytku masy badanych powierzchni wyznaczono na podstawie pomiarów masy trzech próbek z jednakowymi wariantami modyfikacji powierzchni, w takim samym ośrodku korozyjnym. Wyznaczono również procentowe zmiany ubytku masy $\Delta Z1$ w odniesieniu do próbek szlifowanych oraz $\Delta Z2$ w odniesieniu do próbek nagniatanych po zakończeniu badań tj. po 1008 godzinach. Pomiary ubytku masy pozwolą oszacować szybkość korozji poszczególnych wariantów powierzchniowych warstw dwuskładnikowych.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

3.1. BADANIA ZMĘCZENIOWE.

Uzyskane wyniki badań zmęczeniowych, przedstawione w tabeli 1, wskazują, że na skutek nacięcia śrubowego rowka wytrzymałość zmęczeniowa zmniejszyła się o 39,8%. Ukonstytuowanie powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej przy sile nagniatania 900 N (wariant Cu1) spowodowało zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej o 41,5% w odniesieniu do próbek szlifowanych i o 2,9% w odniesieniu do próbek ze śrubowym rowkiem. Konstytuowanie powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej przy sile nagniatania 650 N (wariant Cu2) spowodowało zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej o 47,1 % w porównaniu z próbkami szlifowanymi i o 12,1 % w odniesieniu do próbek ze śrubowym rowkiem

Tab.1. Wyniki badań wytrzymałości zmęczeniowej.

Wariant obróbki	Wytrzymałość zmęczeniowa Z_{gwt} [Mpa]	Zmiana wytrzymałości ΔZ_{gwt} [%]
Sz	385,28	-
R	231,90	-39,8
Cu1	225,25	-41,5
Cu2	207,3	-47,1

Wyniki badań potwierdzają, że śrubowy rowek jest głównym czynnikiem zmniejszającym wytrzymałość zmęczeniową, wskazują jednak również na dalsze jej zmniejszanie przez wprowadzony do rowka drut miedziany. Przyczyną tego jest najprawdopodobniej występujący podczas działania obciążenia zewnętrznego nacisk drutu na ścianki rowka, który powoduje powstanie większych naprężeń rozciągających na dnie rowka, w wyniku czego próbka ulega szybszemu pęknięciu. Uzyskane wyniki (różnica wytrzymałości zmęczeniowej pomiędzy wariantami Cu1 i Cu2) wskazują ponadto, że siła nagniatania wywiera istotny wpływ na właściwości zmęczeniowe powierzchniowych warstw dwuskładnikowych.

Większa wytrzymałość przy większej sile nagniatania (wariant Cu1) jest efektem większego umocnienia materiału pod dnem rowka [6]. Jednak dalsze badania mające na celu zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej powinny być ukierunkowane na optymalizację kształtu i wymiarów śrubowego rowka. Ponadto, w rzeczywistych zastosowaniach powierzchniowa warstwa dwuskładnikowa będzie utworzona na czopie, w miejscu podparcia elementu ślizgowego, gdzie zagrożenie wystąpienia zjawisk zmęczeniowych jest mniejsze niż w przypadku próbek użytych w opisanych badaniach.

3.2. BADANIA ODPORNOŚCI KOROZYJNEJ

Wyniki badań zużycia korozyjnego przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Wyniki badań zużycia korozyjnego próbek z powierzchniowymi warstwami dwuskładnikowymi

Wariant	Zużycie korozyjne [$\bullet 10^{-3}$ kg]			$\Delta Z1$	$\Delta Z2$
	po 336 godz	po 672 godz	po 1008 godz	[%]	[%]
Sz	0,329	0,527	0,759	-	-17,69
N	0,336	0,578	0,922	21,43	-
Cu	0,368	0,707	0,993	30,82	7,70
M63	0,346	0,623	0,850	11,95	-7,80
Al.	0,366	0,643	0,910	19,89	-1,30
Ag	0,301	0,571	0,848	11,72	-8,00
Pb	0,158	0,306	0,456	-39,9	-50,54

Zupełnie odmiennie wygląda zużycie korozyjne próbek modyfikowanych ołowiem. Na każdym etapie próby jest ono wyraźnie mniejsze od zużycia próbek szlifowanych i nagniatanych. Po zakończeniu badań jest ono mniejsze o 39,9% od zużycia próbek szlifowanych i o 50,54% od zużycia próbek nagniatanych. Małe ubytki masy próbek z powierzchnią dwuskładnikową modyfikowaną ołowiem najprawdopodobniej spowodowane zostały pokrywaniem się materiału modyfikowanego (stal 45) warstwą związków ołowiu, która wydatnie zapobiegała korozji. Obserwowana duża odporność korozyjna badanych próbek utrzymywała się przez cały okres badań prawdopodobnie dzięki odporności ołowiu na działanie roztworu kwasu siarkowego [8].

Zastosowanie materiału modyfikującego, który jest odporny na działanie czynnika korozyjnego w jakim znajduje element z powierzchniową warstwą dwuskładnikową zmniejszyło zużycie korozyjne rozważanej warstwy w odniesieniu do powierzchni jednoskładnikowej. Świadczy to najprawdopodobniej o przenoszeniu się materiału modyfikującego na modyfikowany na drodze elektrochemicznej. Prawdopodobne jest również, że w trakcie tarcia materiał modyfikujący może przenosić się na modyfikowany na skutek procesów elektrochemicznych. Byłoby to wtedy zjawisko korzystne, mogące formować warstwy odporne na zużycie wywołane tarciem.

4. WNIOSKI

1. Elementy konstrukcyjne z powierzchniową warstwą dwuskładnikową posiadają mniejszą wytrzymałość zmęczeniową od elementów bez takiej warstwy. Główną przyczyną zmniejszenia wytrzymałości jest śrubowy rowek będący geometrycznym koncentratorem naprężeń. W prowadzonych badaniach spowodował on zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie o 39,8%.
2. Miedziany drut wgniatany do rowka w trakcie konstituowania powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej powoduje dalsze zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej. Badane próbki z powierzchniową warstwą dwuskładnikową miały wytrzymałość zmęczeniową o 2,9=12,1 % mniejszą od wytrzymałości próbek z naciętym rowkiem śrubowym.
3. Optymalizacja parametrów wytwarzania powierzchniowych warstw dwuskładnikowych (np. siły nagniatania) może zmniejszać ich negatywny wpływ na właściwości zmęczeniowe.
4. Zależnie od zastosowanego materiału modyfikującego powierzchniowa warstwa dwuskładnikowa może charakteryzować się mniejszym lub większym zużyciem korozyjnym od materiału podstawowego. Jeżeli materiał modyfikujący jest odporny na korozyjne od-

działywanie środowiska w którym znajduje się powierzchniowa warstwa dwuskładnikowa to jej zużycie korozyjne będzie mniejsze od zużycia materiału podstawowego. W przeciwnym wypadku ma miejsce zwiększenie zużycia korozyjnego.

5. Obszar ewentualnych zastosowań powierzchniowych warstw dwuskładnikowych to węzły ślizgowe nie poddawane silnym obciążeniom dynamicznym, pracujące przy niewielkich prędkościach poślizgu w warunkach tarcia mieszanego. W tych warunkach prezentowana technologia może zapewnić korzystniejsze właściwości tribologiczne od rozwiązań klasycznych, szczególnie gdy możliwe jest zanieczyszczenie czynnika smarującego twardymi cząstkami.

LITERATURA

1. Sęp J.: Wpływ materiału modyfikującego i parametrów konstituowania na właściwości tribologiczne węzłów ślizgowych z elementami z powierzchniową warstwą dwuskładnikową. Tribologia nr 1(163),1999.
2. Sęp J.: Charakterystyki zużyciowe łożysk ślizgowych z czopem z powierzchniową warstwą dwuskładnikową. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn nr 4, 1998 (w druku).
3. Szkolnik L.M.: Metodika. ustalośtnych ispytаний. Metalurgija, Moskwa 1978.
4. PN - 70/H - 04600: Ogólne wytyczne warunków badań laboratoryjnych przyspieszonych.
5. PN - 76/H - 04601: Badanie laboratoryjne w cieczach i roztworach o temperaturze otoczenia.
6. Sęp J., Zielecki W.: Badania wytrzymałości zmęczeniowej czopów z powierzchniową warstwą dwuskładnikową. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 161, Mechanika z. 49, Rzeszów 1997.
7. Przybylski W.: Technologia obróbki nagniataniem.
8. Praca zbiorowa: Poradnik galwanotechnika. WNT Warszawa 1985.

OPERATIONAL PROPERTIES OF SLIDING ELEMENTS WITH TWO-COMPONENT SURFACE LAYER

ABSTRACT

The paper presents the results of tests concerning operational properties of elements with two-component surface layer. It has been stated that tribological wear of elements with two-component surface layer was smaller than the wear of specimens without such a layer. On the other hand, two-component surface layer produced on the pivot surface causes a decrease in flexural fatigue strength and in conosion resistance. It may limit the applications of the presented method of improving tribological properties.

Recenzent: Jan Burcan